听障大学生词汇识别过程的特异性:语言经验和阅读能力的影响*

兰泽波[1,2] 郭梅华[1,3] 姜琨[4] 吴俊杰[1] 闫国利[1]

([1] 天津师范大学心理学部, 天津 300387) ([2] 福建医科大学健康学院, 福州 350122)

([3] 闽南师范大学教育科学学院, 漳州 363000) ([4] 天津理工大学心理健康教育与咨询中心, 天津 300384)

摘要

目的：本研究采用语义相关性判断任务，通过两个实验探讨语言经验和阅读能力对听障大学生词汇识别中字形、语音和手语表征激活的影响。

方法：实验 1 比较不同语言经验和阅读能力的听障大学生在形似干扰字、同音干扰字和无关干扰字条件下的表现，实验 2 比较他们在手语相关和无关条件下的表现。

结果：实验 1 结果显示，在正确率和反应时指标上，不同语言经验和阅读能力的听障大学生表现出相似的字形干扰效应（与无关干扰字相比，形似干扰字条件下正确率更低、反应时更长），均未出现语音干扰效应。实验 2 结果显示，在正确率指标上，当控制听障大学生阅读能力时，阅读能力高的手语组表现出显著的手语干扰效应（与无关条件相比，手语相关条件下正确率更低），阅读能力高的口语组未出现手语干扰效应。当控制听障大学生语言经验，阅读能力高的手语组和阅读能力低的手语组表现出相似的手语干扰效应。

局限：本研究只考察了听障大学生在书面词汇识别中字形、语音和手语表征的激活情况，其它年龄阶段的听障学生情况如何，还有待进一步的研究。

结论：综合两个实验的结果可以发现，语言经验影响听障大学生的词汇表征，阅读能力不影响听障大学生的词汇表征。在此基础上，本研究尝试提出听障大学生中文词汇识别的认知加工模型。

关键词 听障大学生，书面词汇识别，字形表征，语音表征，手语表征

1 引言

阅读是一项复杂的认知活动，指读者从文本中获取语义的过程。熟练阅读依赖高效地识别书面词汇，从而将更多资源分配给高水平的句子理解，高效的词汇

收稿日期：2022-7-28

* 国家社会科学基金项目（16BYY074）

通信作者：闫国利，E-mail: psyygl@163.com

识别包括快速和自动检索高质量的词汇表征（Perfetti, 2007）。在一般的读者中，词汇识别包括通达稳定的字形表征、语音表征和语义表征，这些表征得到了大脑神经网络研究的支持（Dehaene, 2009）。然而，阅读对于听觉经验缺失的听障者而言，则是一项具有较大挑战的任务。研究表明，听障者整体阅读水平较低，通常只能达到健听者四年级的阅读水平（Traxler, 2000），他们要达到与同龄健听者的阅读水平具有一定困难。研究者发现，由于缺乏听觉信息输入而发生的视觉加工变化，如听障者在边缘视野的视觉注意增强（Pavani & Bottari, 2012），以及由于缺乏口语经验而导致的语音表征能力减弱（Sterne & Goswami, 2000），都可能改变听障者的阅读过程。相关研究表明，与正常发展的健听读者不同，字形表征和语音表征可能在听障者词汇识别过程中扮演着不同的角色（Emmorey & Lee, 2021）。此外，手语作为听障者的一种交流方式，也影响听障者的词汇识别过程（Ormel, 2008）。因此，研究听障者词汇识别的认知加工机制具有重要意义。

词汇识别即获取词汇的意义，是阅读的必要环节，指读者根据字形或语音信息在心理词典中查找和提取相应词条的过程（白学军，闫国利, 2017）。以健听读者阅读为例，词汇通达存在两条可能的通路：一条是形-义的直接通达路径，即视觉信息激活字形表征，字形表征激活语义表征；另一条是以语音为中介的通路，即视觉信息激活的字形表征激活了语音表征，语音表征进一步激活语义表征（Coltheart et al., 2001）。听障者无法有效通达语音信息，他们的词汇通达路径是否与健听读者相似？研究者对该问题进行了探讨。Bélanger 等人（2012, 2013）发现，虽然听障成人在法语词汇识别过程中激活了正字法表征，但他们在任务中没有像健听者那样激活语音表征。Fariña 等人（2017）针对西班牙语的研究同样发现，阅读能力较高的听障成人激活正字法表征，未激活语音表征。上述研究表明听障者的词汇识别过程与健听者不同，他们存在形-义的直接通达路径，不存在形-音-义的语音中介路径。需要注意的是，有研究发现听障者在词汇识别过程中也能够激活语音表征。Friesen 和 Joanisse（2012）发现，听障成人在英语词汇判断任务中表现出与健听者相似的同音假词效应，判断同音假词的反应时显著慢于拼写控制假词，但效应弱于健听读者。兰泽波等人（2022）发现，听障大学生在中文阅读中表现出绕口令效应，但效应弱于健听读者。这表明听障者在词汇识别过程中能够激活语音表征，但激活程度可能比健听读者弱。此外，值得注意的

是，针对主要使用手语的听障成人的研究发现，他们在词汇识别过程中激活了词汇对应的手语表征（Kubus et al., 2014; Morford et al., 2011, 2014, 2017; Thierfelder, Wigglesworth, & Tang, 2020a），而且即使是处在阅读发展阶段的听障中学生（Villwock et al., 2021）和小学生（Ormel et al., 2012）也激活了手语表征。因此研究者认为，手语听障者的词汇通路包括两条：一条是与健听者相似的形-义直接通达路径，另一条是手语中介通达路径，即视觉信息激活的字形表征激活了手语表征，手语表征进一步激活语义表征（Ormel et al., 2012）。

从以上综述可以看出，以往研究发现听障者在词汇识别中能够激活稳定的字形表征，但是在语音表征激活方面，现有研究存在不一致的结果（Mayberry et al., 2011），针对手语听障者的研究发现，他们能够激活稳定的手语表征。Lederberg 等人（2012）认为，听障儿童的语言学习环境影响其语言发展。大约 5%听障儿童出生在听障家庭，他们通常接触的都是使用手语的人群，因此这类听障儿童能够自然习得手语，继而通过手语掌握书面词汇。相比之下，大约 95%听障儿童的父母听力正常，他们需要各种各样的支持和帮助来习得手语或口语。因此这类听障儿童在语言能力上呈现出多样化发展的特点，这主要取决于父母采用何种语言抚养孩子、听障儿童自己的语言使用情况、以及听障儿童对口语的获取程度（Ormel & Giezen, 2014）。由于听障者的语言学习环境复杂，他们在语言经验（通过手语、口语康复训练、唇读等习得语言）和阅读能力等方面存在较大的个体差异，这些均可能影响听障者阅读的认知过程（Hirshorn et al., 2014），具体表现在以下几个方面：

首先，不同语言经验的听障读者由于习得语言的过程不同，势必影响其书面词汇的识别。当前研究主要关注了口语经验对听障者语音表征的影响。Blythe 等人（2018）发现具备口语能力的听障中学生在阅读中能够激活语音表征，并利用语音表征进行词汇识别。兰泽波等人（2020）进一步发现口语熟练的听障大学生在中文词汇识别过程中激活了语音表征，口语不熟练者则未激活语音表征。仅有少数研究直接比较了口语经验听障者和手语经验听障者在语音意识任务上的表现，Koo 等人（2008）发现在听障读者中，口语或唇读使用者的表现与健听读者相似，均优于手语使用者，表明口语听障者具备与健听者相似的语音意识，而手语听障者未发展出语音意识。以上研究提出了值得进一步验证的理论假设，即语

言经验塑造听障者词汇识别中的词汇表征。具体表现为：部分听障者经过口语康复训练、唇读等途径具备一定的口语经验，发展出与健听者相似的语音意识，按照与健听者相似的语言习得过程来学习书面词汇，能够利用语音表征进行词汇识别。而手语听障者在日常生活中主要使用手语，无法有效通达语音，未发展出稳定的语音意识，与健听者的语言习得过程不同，他们主要通过手语来习得书面词汇，因此他们无法有效利用语音表征完成词汇识别，而是利用手语表征进行词汇识别（Ormel et al., 2012）。

其次，根据听障者阅读词汇习得模型（Model of Reading Vocabulary Acquisition for Deaf Children，Hermans et al., 2008），使用手语的听障者在开始学习书面词汇时需要借助实时的手语翻译获得书面词汇的语义，随着阅读经验增加、阅读能力提高，他们将表现出与健听者相似的词汇表征，书面词汇的字形表征与概念语义系统紧密相连，并逐步发展出口语语音系统，逐渐减弱对手语的依赖。近年来有研究采用相关分析方法发现，随着阅读能力的提高，高阅读能力听障者表现出更强的字形表征和语音表征（Thierfelder, Wigglesworth, & Tang, 2020b），手语表征则更弱（Morford et al., 2014），支持了听障者阅读词汇习得模型的观点。当前仅有两项研究比较了阅读能力高、低的听障成人的词汇表征，发现高阅读能力和低阅读能力的听障成人均激活了稳定的正字法表征（Bélanger et al., 2012）和手语表征（Morford et al., 2017），未激活语音表征（Bélanger et al., 2012），不支持听障者阅读词汇习得模型的观点。需要注意的是，上述两项研究中选取的被试年龄范围跨度较大（从 18 岁到 55 岁），且 Morford 等人研究中未对听障成人的阅读能力进行严格的统计学检验，未报告两组听障者在阅读能力上是否有差异。因此，进一步通过实验研究探讨阅读能力对听障者词汇表征的影响有助于验证相应的理论模型。

综上所述，听障者词汇识别中的词汇表征一直是听障者阅读研究的热点问题。研究者基于不同的实验材料和范式进行了考察，但研究结果存在一定争议（Mayberry et al., 2011）。一方面，有研究者认为听障者与健听者的词汇识别过程是相同的，听障者能够利用字形表征和语音表征进行词汇识别，只是在语音表征的质量上与健听者存在差异（Elliott et al., 2012）；另一方面，有研究者认为听障者表现出与健听者不同的词汇识别过程，听障者无法利用语音表征完成词汇识别，

而是利用字形表征和手语表征进行词汇识别（Ormel et al., 2012）。此外，近年来研究者还关注到语言经验和阅读能力对听障者词汇表征的影响。然而，当前尚缺乏实验研究来直接验证该问题。鉴于此，有必要在探究听障者词汇识别认知机制的基础上，进一步明确语言经验和阅读能力在其中的影响，即口语听障者表现出与健听者相似的词汇表征，手语听障者则表现出不同的词汇表征，以及随着阅读能力的提高，高阅读能力听障者的词汇表征更接近健听者。考察上述问题具有一定的新意和价值：第一，对听障者词汇识别中词汇表征的研究，可加深对听障者阅读认知机制的理解。第二，当前探讨听障者个体差异对其阅读认知机制影响的研究尚不深入，进一步探讨语言经验和阅读能力等个体差异对阅读认知机制的影响有助于回答个体差异在塑造听障者词汇表征中的作用，为听障者的阅读教学指导提供依据。

本研究设计了两个实验，实验 1 采用语义相关性判断任务，要求被试判断先后出现的两个词汇之间是否有语义联系，操纵词汇的字形和语音相似性考察字形表征和语音表征。实验 2 采用相同的任务，操纵词汇的手语相似性考察手语表征。另外，为了考察语言经验和阅读能力的影响，本研究选取了三组听障读者作为研究对象：阅读能力高的口语组听障大学生（Skilled Oral Deaf，SOD）、阅读能力高的手语组听障大学生（Skilled Sign Deaf，SSD）和阅读能力低的手语组听障大学生（Less-Skilled Sign Deaf，LSSD）。通过比较 SOD 和 SSD 组的表现考察语言经验的影响，比较 SSD 和 LSSD 组的表现考察阅读能力的影响。由于字形表征是其它类型表征激活的前提，本研究预期听障大学生与健听大学生均表现出稳定的字形干扰效应。基于前文所述的理论观点，预测语言经验影响听障大学生词汇识别过程，口语组听障大学生表现出与健听者相似的语音干扰效应，手语组听障大学生则表现出手语干扰效应，语音干扰效应即使出现也较弱。阅读能力影响听障大学生词汇识别过程，表现为高阅读能力听障大学生的字形干扰效应大于低阅读能力听障大学生，手语干扰效应则弱于低阅读能力听障大学生，高阅读能力听障大学生可能表现出较弱的语音干扰效应，符合听障者阅读词汇习得模型的理论观点。

2 实验 1：语言经验和阅读能力对听障大学生词汇识别中字形和语音表征激活的影响

2.1 研究方法

2.1.1 被试

64 名天津理工大学在读听障大学生参与实验，男生 30 名，女生 34 名，平均年龄 22.50 岁（*SD* = 1.53 岁），视力或矫正视力正常。所有被试在 3 岁前（学语前）失聪（*M* = 1.04 岁，*SD* = 0.94 岁），听力损失程度大于 70dB（*M* = 99.90dB，*SD* = 13.80dB），属于重度听力障碍，未植入人工耳蜗。46 名学生有佩戴助听设备习惯（佩戴年龄：*M* = 3.66 岁，*SD* = 3.07 岁）。24 名被试在日常生活中主要使用口语，40 名被试主要使用手语。所有被试完成语言经历和语言水平问卷、非言语智力测验和阅读流畅性测验。

（1）语言经历和语言水平问卷。选取 Marian 等人（2007）编制的语言经历和语言水平问卷（LEAP-Q）中部分题项。语言经历问卷要求被试对自己接触每种语言时间的百分比进行评定："请列出目前你所接触每种语言（口语和手语）时间的百分比（各项百分比之和应为 100%）"。语言水平问卷要求被试对自己语言表达和语言理解方面的语言水平进行评定："标出你在 1～10 的数值范围之内，口语/手语表达能力、理解能力方面的语言水平"，采用 Li 等人（2020）推荐的方法计算被试整体语言水平。

（2）非言语智力测验。采用李丹等人（1988）修订的瑞文测验联合型（CRT），由 A、AB、B、C、D、E 六个单元构成，每单元 12 题，共 72 个测题。

（3）阅读流畅性测验。采用三分钟快速阅读测验（程亚华，伍新春，2018）。该测验包含 100 个简单句子，要求学生在三分钟内快速默读句子，并对句子意思进行正误判断。例如，燕子会飞（√）；太阳从西边升起（×）。将学生回答正确题项的总字数减去回答错误题项的总字数作为阅读流畅性成绩。

依据听障大学生的语言使用比例和阅读流畅性将其分为 SOD、SSD 和 LSSD，三组听障大学生的具体信息见表 1。

表 1 听障大学生人口学信息比较

	SOD 组（24） *M* (*SE*)	SSD 组（24） *M* (*SE*)	LSSD 组（16） *M* (*SE*)	*F*
年龄	22.34(0.30)	22.76(0.26)	22.38(0.35)	0.66
口语使用比例	0.77(0.03)	0.17(0.02)	0.10(0.03)	182.90***
手语使用比例	0.23(0.03)	0.83(0.02)	0.90(0.03)	182.90***
口语水平	0.66(0.03)	0.31(0.03)	0.14(0.05)	58.90***
手语水平	0.50(0.05)	0.71(0.03)	0.64(0.03)	9.90***

智力（IQ）	114.48(2.37)	112.19(2.78)	111.16(4.07)	0.32
阅读流畅性（字/分）	462.65(22.41)	449.25(19.32)	262.50(12.14)	26.53***
听力损失程度（dB）	94.10(2.83)	101.46(2.57)	106.44(3.21)	4.48*
听障时间	1.16(0.21)	1.04(0.17)	0.84(0.26)	0.52

注：SOD 阅读能力高的口语组，SSD 阅读能力高的手语组，LSSD 阅读能力低的手语组；*** $p <$ 0.001; ** $p < 0.01$; * $p < 0.05$，下同

采用单因素方差分析计算三组听障大学生的语言使用比例、语言水平、智力、阅读能力、听力损失程度和听障时间的差异。结果显示，在年龄[$F(2,62) = 0.66$，$p = 0.52$]、智力[$F(2,61) = 0.32$，$p = 0.73$]和听障时间[$F(2,61) = 0.52$，$p = 0.60$]上主效应不显著，在口语使用比例[$F(2,61) = 182.90$，$p < 0.001$]、口语水平[$F(2,61) = 58.90$，$p < 0.001$]、手语水平[$F(2,61) = 9.90$，$p < 0.001$]、阅读流畅性[$F(2,61) = 26.53$，$p < 0.001$]和听力损失程度上主效应显著[$F(2,61) = 4.48$，$p < 0.05$]。

事后比较分析表明：首先，SOD 组的口语使用比例和口语水平显著高于 SSD 组（$ps < 0.001$），在手语使用比例和手语水平上则是 SSD 组显著高于 SOD 组（$ps < 0.05$），在阅读流畅性[$t(61) = 0.51$, $p = 0.87$]和听力损失程度[$t(61) = -1.94$, $p = 0.14$]上两组差异不显著。这表明 SOD 组和 SSD 组在阅读能力上匹配，两组在语言经验上存在差异。其次，SSD 组的阅读流畅性[$t(61) = 6.27$, $p < 0.001$]和口语水平[$t(61) = 3.19$, $p < 0.01$]显著高于 LSSD 组，但是在口语使用比例[$t(61) = 1.78$, $p = 0.18$]、手语水平[$t(61) = 1.29$, $p = 0.41$]和听力损失程度[$t(61) = -1.17$, $p = 0.47$]上两组差异不显著。这表明 SSD 组和 LSSD 组在语言经验上匹配，两组在阅读能力上存在差异。

另外选取 28 名健听大学生作为对照组（Hearing），平均年龄 19.90 岁（$SD = 1.03$ 岁），平均智商 IQ 为 118.50（$SD = 14.03$），母语为汉语，均未接触过手语。

2.1.2 材料

实验材料为 100 组词对，每组词对由 1 个线索词和 4 个测试字组成。线索词为双字词（如“舒展”），测试字包含 4 种类型汉字：1 个目标字和 3 个干扰字。目标字与线索词语义高度相关（如“伸”），被试的正确按键反应为“是”。邀请 20 名健听大学生评定线索词和目标字的语义相关性（1=非常不相近，5=非常相近），平均语义相关性 4.00（$SD = 0.39$）。干扰字与线索词语义无关，被试的正确按键反应为“否”，包含 3 种类型：与目标字字形相似但语音不同（形似干扰字，如“坤”）、与目标字语音相同但字形不相似（同音干扰字，如“深”）、与目标字

字形和语音均不同（无关干扰字，如“娴”）。邀请 20 名未参与语义相关性评定的健听大学生评定干扰字与目标字的字形相似性。实验材料具体信息见表 2。

表 2 实验 1 的实验材料 $M(SE)$

	线索词	目标字	形似干扰字	同音干扰字	无关干扰字
示例	舒展	伸	坤	深	娴
词频/字频 [a]	96.80(59.1)	21.20(11)	21.20(4.45)	16.50(3.61)	15.10(2.13)
笔画数	17.10(0.51)	10(0.30)	9.96(0.30)	9.50(0.25)	9.73(0.21)
字形相似性	-	-	4.04(0.04)	1.21(0.02)	1.18(0.02)

a 词频/字频来自基于电影对白编制的汉语字/词语料库（Cai & Brysbaert, 2010）

采用单因素三水平重复测量方差分析计算干扰字的字频、笔画数和字形相似性的差异。字频和笔画数上，干扰字类型主效应不显著[字频：$F(2,198) = 1.17$，$p = 0.31$，$\eta^2_p = 0.01$；笔画数：$F(2,198) = 1.53$，$p = 0.22$，$\eta^2_p = 0.02$]。字形相似性上，干扰字类型主效应显著[$F(2,198) = 3516$，$p < 0.001$，$\eta^2_p = 0.97$]，形似干扰字显著高于同音干扰字[$t(198) = 72.30, p < 0.001$]和无关干扰字[$t(198) = 72.93, p < 0.001$]，同音干扰字与无关干扰字的差异不显著[$t(198) = 0.63, p = 0.81$]。

正式实验采用拉丁方平衡设计实验字对，形成 4 组，每组包含 8 个练习试次、100 个实验试次和 50 个填充试次。实验试次中每个测试字条件出现 25 次，正确按键反应为 25 个“是”和 75 个“否”。为平衡按键反应，添加了 50 个填充试次，正确按键反应为“是”。被试随机接受其中 1 组进行实验。

2.1.3 设计

4（组别：Hearing 组、SOD 组、SSD 组、LSSD 组）× 4（测试字：目标字、形似干扰字、同音干扰字、无关干扰字）的两因素混合实验设计。组别为被试间因素，测试字为被试内因素。

2.1.4 仪器

通过 13 英寸 Dell 笔记本电脑呈现实验材料并记录实验结果，屏幕显示器分辨率 1920×1080 像素，刷新率 60Hz。被试眼睛距离屏幕约 50 厘米，每个汉字在屏幕上的大小为 55×55 像素，占据视角 1°。使用 E-prime3.0 编写实验程序。

2.1.5 程序

被试单独施测，熟悉实验环境后坐在电脑屏幕前阅读指导语。要求被试又好又快地判断屏幕上先出现的一个双字词和后出现的一个字之间是否有语义联系。参考 Xu 等人（1999）研究中的实验程序（见图 1），每个试次呈现如下刺激：首

先在屏幕中心呈现 500 毫秒注视点“+”；然后在屏幕中心呈现一个线索词 500 毫秒，紧接着出现一个测试字，被试通过键盘按键“F”或“J”作是/否判断，若 3000 毫秒内被试未做出判断即开始下一个试次，试次间隔 1000 毫秒。从开始呈现测试字到被试做出“是”或“否”按键时间记为反应时。

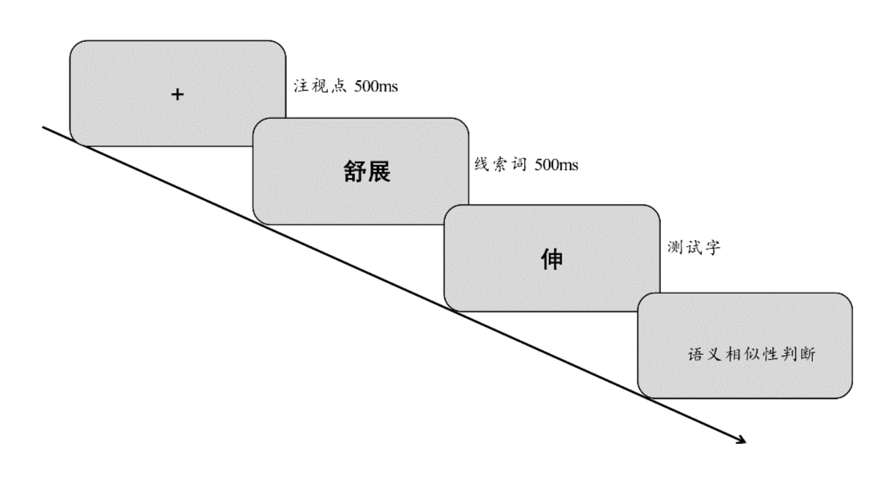


图 1 实验 1 流程图

2.1.6 数据分析

仅分析实验试次中干扰字条件下的数据。研究选取正确率和正确判断的反应时作为因变量。在分析数据之前，删除了反应时小于 300ms 和未按键的数据（健听大学生 0.1%，听障大学生 0.3%）。采用广义线性混合模型（Generalized Linear Mixed Model, GLM）分析正确率，采用线性混合模型（Linear Mixed Model, LMM）分析反应时，反应时数据分析之前删除超出每个被试在每个条件下平均值 3 个标准差以外的数据（健听大学生 2.0%，听障大学生 7.8%），为使数据正态化，反应时数据进行对数化处理。

首先单独分析健听大学生的数据，其次分析听障大学生的数据时，组别（SOD vs. SSD，SSD vs. LSSD）、干扰字类型（形似干扰字 vs. 无关干扰字，同音干扰字 vs. 无关干扰字）及其交互作用作为固定效应，被试和项目作为随机效应。全模型的随机效应包括被试层面的随机斜率和截距、项目层面的随机斜率和截距，通过主成分分析（Bates et al., 2015）选择最优模型，最后报告指标的回归系数（*b*），标准误（*SE*），*t*/*z* 值，*p* 值和 95%置信区间。使用‘BayesFactor’包的 lmBF 函数（Morey et al., 2015）进行贝叶斯因子分析，来确定三组听障大学生字形干扰效应和语音干扰效应的证据强度。参考 Yao 等人（2021）的研究，字形干扰效应的贝叶斯因子由“包括字形干扰效应、被试和项目截距的模型”与“只包括被试

和项目截距的零模型”比值所得，语音干扰效应的贝叶斯因子由“包括语音干扰效应、被试和项目截距的模型”与“只包括被试和项目截距的零模型”比值所得，比值大于 1 时认为倾向于存在字形干扰效应和语音干扰效应。

2.2 结果

听障大学生中 SOD 组 1 人，SSD 组 3 人未能完成实验，三组中各有 1 名被试因正确率较低（目标字条件下正确率低于 60%）未被纳入数据分析中。最终数据分析中 Hearing 组 28 名，SOD 组 22 名，SSD 组 20 名，LSSD 组 15 名。健听大学生和三组听障大学生在不同干扰字条件下的正确率和反应时见表 3。

表 3 实验 1 结果的平均值（标准误）

干扰字类型	Hearing		SOD		SSD		LSSD	
	正确率	反应时	正确率	反应时	正确率	反应时	正确率	反应时
形似干扰字	0.81(0.01)	717(8)	0.76(0.02)	754(9)	0.73(0.02)	776(11)	0.72(0.02)	756(14)
同音干扰字	0.90(0.01)	694(8)	0.90(0.01)	739(9)	0.89(0.01)	740(10)	0.84(0.02)	728(13)
无关干扰字	0.94(0.01)	689(7)	0.93(0.01)	721(9)	0.90(0.01)	736(9)	0.87(0.02)	704(10)

2.2.1 健听大学生

正确率指标上，形似干扰字显著低于无关干扰字（$b = 1.40$, $SE = 0.20$, $z = 6.96$, $p < 0.001$，95%CI = [1.01, 1.80]），同音干扰字显著低于无关干扰字（$b = 0.56$, $SE = 0.20$, $z = 2.81$, $p < 0.01$，95%CI = [0.17, 0.96]）。贝叶斯因子分析发现，字形干扰效应的贝叶斯因子为 $4.95e^{11}$，语音干扰效应的贝叶斯因子为 3.66，支持健听大学生表现出字形干扰效应和语音干扰效应。

反应时指标上，形似干扰字显著长于无关干扰字（$b = -0.03$, $SE = 0.01$, $t = -3.01$, $p < 0.01$，95%CI = [-0.06, -0.01]），同音干扰字与无关干扰字的差异不显著（$b = -0.00$, $SE = 0.01$, $t = -0.21$, $p = 0.84$，95%CI = [-0.02, 0.02]）。贝叶斯因子分析发现，字形干扰效应的贝叶斯因子为 6.66，语音干扰效应的贝叶斯因子为 0.06，支持健听大学生表现出字形干扰效应，未表现出语音干扰效应。

2.2.2 听障大学生

三组听障大学生的线性混合效应模型统计结果见表 4。正确率指标上，形似干扰字显著低于无关干扰字，同音干扰字显著低于无关干扰字。交互作用均不显著。贝叶斯因子分析显示，字形干扰效应上，SOD 组的贝叶斯因子为 $9.79e^{14}$，SSD 组的贝叶斯因子为 $3.64e^{11}$，LSSD 组的贝叶斯因子为 $8.60e^{5}$，为三组听障大学生存在字形干扰效应提供了支持的证据。语音干扰效应上，SOD 组的贝叶斯

因子为 0.50，SSD 组的贝叶斯因子为 0.10，LSSD 组的贝叶斯因子为 0.12，不支持三组听障大学生存在语音干扰效应。

反应时指标上，形似干扰字显著长于无关干扰字，同音干扰字长于无关干扰字，差异边缘显著。交互作用均不显著。贝叶斯因子分析显示，字形干扰效应上，SOD 组的贝叶斯因子为 25.07，SSD 组的贝叶斯因子为 19.80，LSSD 组的贝叶斯因子为 38.84，为三组听障大学生存在字形干扰效应提供了支持的证据。语音干扰效应上，SOD 组的贝叶斯因子为 0.39，SSD 组的贝叶斯因子为 0.10，LSSD 组的贝叶斯因子为 0.19，不支持三组听障大学生存在语音干扰效应。

表 4 实验 1 中线性混合模型分析结果

效应	正确率					反应时				
	b	*SE*	*t*	*p*	95%CI	*b*	*SE*	*t*	*p*	95%CI
截距	**2.09**	**0.13**	**15.68**	**< 0.001**	**[1.83, 2.35]**	**6.59**	**0.02**	**336.07**	**< 0.001**	**[6.55, 6.63]**
SSD vs. SOD	-0.28	0.24	-1.17	0.24	[-0.74, 0.19]	0.03	0.04	0.61	0.54	[-0.06, 0.11]
LSSD vs. SSD	-0.20	0.26	-0.76	0.45	[-0.70, 0.31]	-0.04	0.05	-0.76	0.45	[-0.13, 0.06]
形似字 vs. 无关字	**1.40**	**0.12**	**12.02**	**< 0.001**	**[1.17, 1.62]**	**-0.05**	**0.01**	**-4.27**	**< 0.001**	**[-0.08, -0.03]**
同音字 vs. 无关字	**0.28**	**0.13**	**2.19**	**0.03**	**[0.03, 0.53]**	-0.02	0.01	-1.73	0.09	[-0.04, 0.00]
(SSD vs. SOD) × (形似字 vs. 无关字)	-0.22	0.28	-0.80	0.43	[-0.77, 0.32]	0.01	0.02	0.36	0.72	[-0.03, 0.05]
(SSD vs. SOD) × (同音字 vs. 无关字)	-0.24	0.31	-0.78	0.44	[-0.85, 0.37]	0.02	0.02	0.85	0.40	[-0.02, 0.05]
(LSSD vs. SSD) × (形似字 vs. 无关字)	-0.24	0.28	-0.85	0.39	[-0.79, 0.31]	-0.02	0.02	-0.91	0.36	[-0.07, 0.02]
(LSSD vs. SSD) × (同音字 vs. 无关字)	0.06	0.31	0.19	0.88	[-0.55, 0.67]	-0.01	0.02	-0.53	0.60	[-0.05, 0.03]

通过以上分析发现，正确率指标更能够反映出读者在语义相关性判断中是否产生字形或语音干扰效应。将无关干扰字下的正确率分别减去形似干扰字下的正确率、同音干扰字下的正确率来直观显示四组大学生的字形干扰效应和语音干扰效应（见图 2）。四组大学生的字形干扰效应均高于 12%，语音干扰效应均低于

4%。首先，采用 t 检验分析发现，四组大学生的字形干扰效应均显著大于语音干扰效应[Hearing：$t(27) = 5.13, p < 0.001$；SOD：$t(21) = 6.03, p < 0.001$；SSD：$t(19) = 5.83, p < 0.001$；LSSD：$t(14) = 4.11, p < 0.01$]。其次，采用单因素方差分析发现，四组大学生的字形干扰效应无显著差异[$F(3, 81) = 0.91, p = 0.44$]。

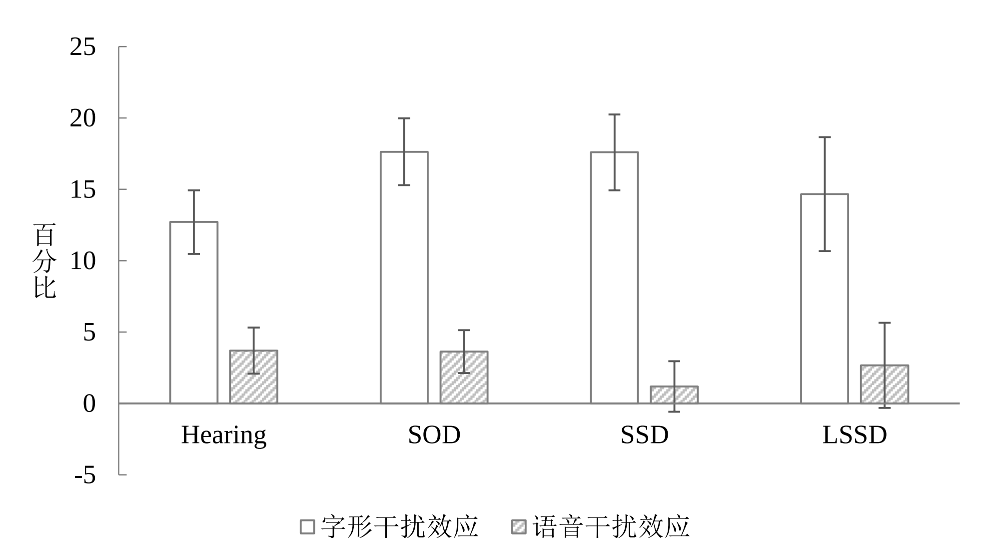


图 2 四组大学生在语义相关性判断任务中的字形和语音干扰效应

2.3 讨论

实验 1 的结果表明，语言经验和阅读能力均不影响听障大学生词汇识别中字形表征和语音表征的激活。被试在语义相关性判断任务中出现字形干扰效应，是因为形似干扰字的字形信息被激活后，与其字形相似的目标字语义也由字形表征激活了，干扰被试做出正确的判断，从而降低被试的正确率，延长被试的反应时。同理，同音干扰字的语音信息被激活，与其语音相同的目标字语义也由语音表征激活，干扰被试做出正确的判断，从而降低被试的正确率，延长被试的反应时。本研究结果表明，健听大学生与三组听障大学生在任务中均表现出稳定的字形干扰效应，但是，即使是健听大学生，语音干扰效应在任务中表现也不稳定，只在正确率指标上存在中等程度的证据支持。研究结果可能受到中文文字系统的影响。中文词汇识别的表征与加工模型（周晓林，1997）认为，在中文词汇识别中，从语音表征到语义的通达是有限的，语义激活主要受字形制约。因此，不论是听障大学生还是健听大学生，在中文词汇识别过程中语义的激活都主要受字形制约，对语音表征的激活较弱。

3 实验 2：语言经验和阅读能力对听障大学生词汇识别中手语表征激活的影响

3.1 研究方法

3.1.1 被试

同实验 1。

3.1.2 材料

实验材料包括启动词和目标词，操纵启动词与目标词的手语相关性：①语义无关、手语相关词对（S-S+），如花-电灯；②语义无关、手语无关词对（S-S-），如蜗牛-插头，每种类型条件下有 50 组词对（见表 5）。手语相关性的操作参考 Morford 等人（2011）的研究，当两个词汇的手语在手语语音参数上存在两个及两个以上参数相同时，它们即为手语相关词，例如，花的手语和电灯的手语在手形、位置、动作参数上相同。

表 5 实验 2 材料示例

词对类型	语义相关性 *M*(*SE*)	启动词及对应手语	目标词及对应手语
语义无关-手语相关	1.94(0.07)	花	电灯
语义无关-手语无关	1.91(0.02)	蜗牛	插头

邀请 20 名健听大学生评定启动词和目标词的语义相关性。最终选取出符合实验要求的词对 56 组，其中 S-S+条件 24 组，S-S-条件 32 组。独立样本 t 检验分析发现，两组词对的语义相关性不存在显著差异[$t(54) = 0.55$, $p = 0.59$]。所有词语对应的手语均为 1 个手势。为控制启动词和目标词对应手语的复杂性，匹配了它们手语中手的个数（单手或双手），如果启动词的手语是使用双手，那么目标词的手语也是使用双手。为平衡被试的按键反应，另外选取了 56 组语义相关的词对。

3.1.3 设计

4（组别：Hearing 组、SOD 组、SSD 组、LSSD 组）× 2（手语相关性：相关、无关）的两因素混合实验设计。组别为被试间因素，手语相关性为被试内因素。

3.1.4 仪器

同实验 1。

3.1.5 程序

参考 Morford 等（2011）研究中的实验程序（见图 3），每个试次呈现如下刺激：首先在屏幕中心呈现 500 毫秒注视点“+”；然后在屏幕中心出现一个启动词 500 毫秒，在 500 毫秒空屏间隔后出现一个目标词，被试通过键盘按键“F”或“J”作是/否判断，若 3000 毫秒内被试未做出判断即开始下一个试次，试次间隔 1000 毫秒。从开始呈现目标词到被试按键做出“是”或“否”判断时间记为反应时。

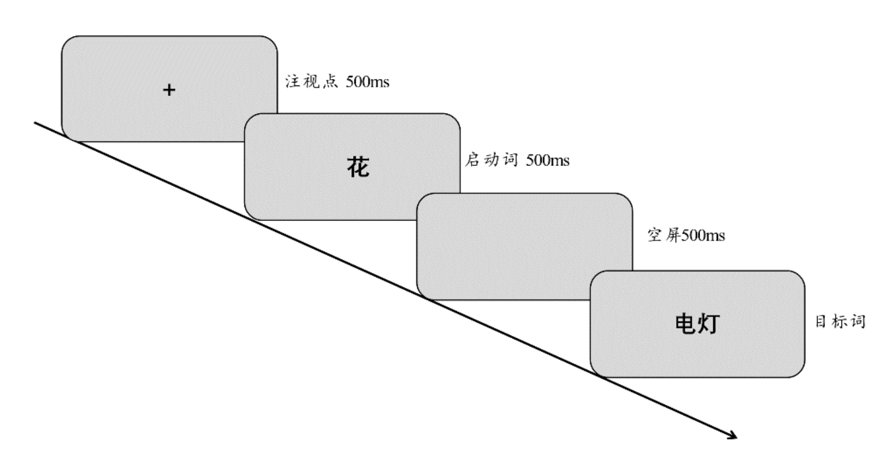


图 3 实验 2 流程图

3.1.6 数据分析

数据分析与实验 1 相同。在分析数据前，删除反应时小于 300ms 和未按键的数据（健听大学生 0.15%，听障大学生 0.47%），反应时数据分析前删除超出每个被试在每个条件下平均值 3 个标准差以外的数据（健听大学生 1.66%，听障大学生 1.91%）。采用贝叶斯因子分析计算被试存在手语干扰效应的支持强度，贝叶斯因子由“包括手语干扰效应、被试和项目截距的模型”与“只包括被试和项目截距的零模型”比值所得，比值大于 1 时被认为倾向于存在手语干扰效应。

3.2 结果

健听大学生 4 人，LSSD 组 1 人未能完成实验，SSD 组和 LSSD 组中各有 1

名被试因正确率较低（正确率低于 70%）未被纳入分析中，最终数据分析中 Hearing 组 24 名，SOD 组 24 名，SSD 组 23 名，LSSD 组 14 名。健听大学生和三组听障大学生在手语相关条件和手语无关条件下的正确率和反应时见表 6。

表 6 实验 4 中结果的平均值（标准误）

手语相关性	Hearing		SOD		SSD		LSSD	
	正确率	反应时	正确率	反应时	正确率	反应时	正确率	反应时
手语相关	0.92(0.01)	736(9)	0.89(0.01)	820(21)	0.89(0.01)	888(17)	0.85(0.02)	803(15)
手语无关	0.96(0.01)	713(7)	0.93(0.01)	774(9)	0.97(0.01)	831(12)	0.94(0.01)	746(11)

4.2.1 健听大学生

正确率指标上，手语相关条件与手语无关条件无显著差异（$b = 0.36$, $SE = 0.38$, $z = 0.97$, $p = 0.34$，95%CI = [-0.37, 1.10]）。手语干扰效应的贝叶斯因子为 0.49，不支持健听大学生存在手语干扰效应。

反应时指标上，手语相关条件与手语无关条件无显著差异（b = -0.03, SE = 0.02, t = -1.44, p = 0.16，95%CI = [-0.07, 0.01]）。手语干扰效应的贝叶斯因子为 0.27，不支持健听大学生存在手语干扰效应。

4.2.2 听障大学生

三组听障大学生的线性混合效应模型统计结果见表 7。正确率指标上，手语相关条件显著低于手语无关条件。SSD 组和 SOD 组在手语相关和手语无关条件下的交互作用显著，简单效应分析表明，SOD 组在手语相关条件与手语无关条件差异不显著（$b = -0.54$，$SE = 0.37$，$z = -1.44$，$p = 0.15$），SSD 组在手语相关条件下的正确率显著低于手语无关条件（$b = -1.58$，$SE = 0.42$，$z = -3.76$，$p < 0.001$），LSSD 组在手语相关条件下的正确率显著低于手语无关条件（$b = -1.08$，$SE = 0.41$，$z = -2.63$，$p < 0.01$）。贝叶斯因子显示，SOD 组的贝叶斯因子为 0.33，SSD 组的贝叶斯因子为 11.23，LSSD 组的贝叶斯因子为 4.02，支持 SSD 组和 LSSD 组听障大学生存在手语干扰效应，不支持 SOD 组存在手语干扰效应。

反应时指标上，手语相关条件显著长于手语无关条件，交互作用均不显著。贝叶斯因子分析显示，SOD 组的贝叶斯因子为 1.51，SSD 组的贝叶斯因子为 1.27，LSSD 组的贝叶斯因子为 1.56，存在较弱的证据支持三组听障大学生存在手语干扰效应。

表 7 实验 2 中线性混合模型分析结果

效应	正确率					反应时				
	b	*SE*	*t*	*p*	95%CI	*b*	*SE*	*t*	*p*	95%CI
截距	**3.15**	**0.21**	**15.17**	**< 0.001**	**[2.75, 3.56]**	**6.65**	**0.03**	**264.53**	**< 0.001**	**[6.60, 6.70]**
SSD vs. SOD	**0.58**	**0.28**	**2.06**	**0.04**	**[0.03, 1.12]**	0.06	0.05	1.22	0.23	[-0.04, 0.16]
LSSD vs. SSD	-0.62	0.32	-1.95	0.05	[-1.25, 0.00]	-0.08	0.06	-1.41	0.16	[-0.20, 0.03]
相关 vs. 无关	**1.07**	**0.34**	**3.13**	**< 0.01**	**[0.40, 1.74]**	**-0.06**	**0.02**	**-2.91**	**< 0.01**	**[-0.10, -0.02]**
(SSD vs. SOD) × (相关 vs. 无关)	**1.05**	**0.36**	**2.94**	**< 0.01**	**[0.35, 1.74]**	-0.01	0.02	-0.29	0.77	[-0.05, 0.04]
(LSSD vs. SSD) × (相关 vs. 无关)	-0.50	0.40	-1.26	0.21	[-1.28, 0.28]	-0.01	0.03	0.30	0.76	[-0.06, 0.04]

将手语无关条件下的正确率减去手语相关条件下的正确率来直观显示四组大学生的手语干扰效应（见图 4）。健听大学生和 SOD 组听障大学生的手语干扰效应低于 4.5%，SSD 和 LSSD 组听障大学生的手语干扰效应高于 8%。单因素方差分析表明，组间差异边缘显著[$F(3, 81) = 2.80$, $p = 0.05$]，四组大学生的手语干扰效应差异不显著（$ps \geq 0.13$），但数据趋势可以看出 SSD 和 LSSD 组听障大学生的手语干扰效应大于健听大学生和 SOD 组听障大学生的手语干扰效应。

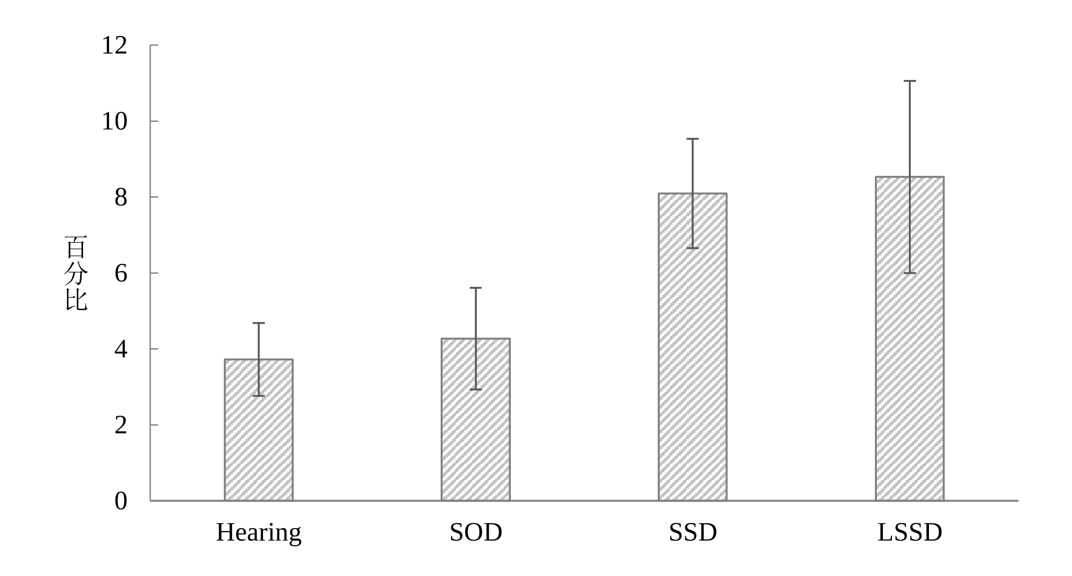


图 4 四组大学生在语义相关性判断任务中的手语干扰效应

3.3 讨论

实验 2 的结果表明，语言经验影响听障大学生词汇识别中手语表征的激活，

阅读能力不影响其手语表征的激活。由于在语义相关性判断任务中给被试呈现的是中文词汇，如果被试判断手语相关词对为语义无关时表现出更多错误，反应时更长，则表明他们在中文书面词汇识别时自动激活了手语表征。本研究发现健听大学生未表现出手语干扰效应，SOD 组听障大学生手语干扰效应较弱，SSD 组听障大学生和 LSSD 组听障大学生均表现出稳定的手语干扰效应，这表明语言经验影响手语表征的激活。SSD 组听障大学生和 LSSD 组听障大学生的手语干扰效应不存在显著差异，表明阅读能力不影响手语表征激活。这与拼音文字研究结果一致，Morford 等人（2017）采用相同的任务发现高、低阅读能力听障成人表现类似，激活了稳定的手语表征，两组听障成人的手语表征激活量不存在显著差异。值得注意的是，当前研究选取的研究对象均为听障大学生或听障成人，他们已经是成熟读者，即使通过阅读测验将他们分为高、低阅读能力者，并不能够代表词汇习得发展阶段。事实上，前人研究发现即使是正处在阅读发展阶段的听障儿童和听障中学生，他们在词汇识别中也激活了手语表征（冯敏等, 2017; Ormel et al., 2012; Villwock et al., 2021）。

4 总讨论

本研究采用语义相关性判断任务，考察了语言经验和阅读能力对听障大学生中文词汇识别中字形、语音和手语表征激活的影响。综合分析两个实验发现，语言经验影响听障大学生词汇表征的激活，阅读能力不影响其词汇表征的激活。值得注意的是，受中文系统的影响，即使是健听大学生，语音表征的激活也较弱，因此语言经验主要影响手语表征的激活。下面分别讨论语言经验和阅读能力对听障大学生中文词汇识别的影响及对构建模型的启示。

4.1 语言经验对听障大学生中文词汇识别的影响

本研究发现口语组听障大学生词汇识别的认知机制与健听者相似，手语组听障大学生发展出与健听者不同的词汇识别认知机制。一方面，口语组听障大学生在中文词汇识别中能够激活稳定的字形表征，对语音表征和手语表征的激活较弱，这与中文词汇识别的表征与加工模型（周晓林, 1997）的观点比较一致。该模型认为在中文词汇识别中，语义激活主要受字形制约，从语音表征到语义通达是有限的。另一方面，手语组听障大学生在词汇识别中激活了稳定的字形表征和手语表征，未激活语音表征，这与听障者词汇识别的交互激活模型（Ormel et al., 2012）

观点比较一致。该模型认为，词汇的字形表征能够直接激活语义表征，也可通过手语表征间接激活语义表征。

研究结果验证了语言经验塑造听障者词汇识别中的词汇表征这一理论假设。听障儿童成长的语言环境多样化，与手语听障者相比，受过口语康复训练的听障者表现出对语音表征的依赖，突出了语言经验在塑造听障者词汇表征中的重要性。Hirshorn 等（2014）通过脑成像研究发现与手语听障者相比，口语听障者从左侧颞上回到背侧阅读网络中基于语音区域（如左侧中央后回）的连接更紧密。Cardin 等人（2013）发现在加工手语时，只有手语听障者表现出左侧颞上回区域的激活增强，口语听障者未表现出增强。以上研究通过脑成像技术发现，在拼音文字系统中，口语听障者阅读时依赖语音表征，手语听障者可能依赖手语表征。需要关注的是，在中文阅读中，即使是健听者，语音表征的激活也较弱，因此本研究未观察到口语听障大学生语音表征的激活。但是本研究同样发现手语听障者在词汇识别中更依赖手语表征，口语听障者对手语表征的激活较弱。值得注意的是，本研究中 SOD 组听障大学生和 SSD 组具有相同水平的阅读能力，这表明不同语言经验的听障者，虽然语言习得过程不同，词汇表征存在差异，但通过努力学习均可以获得较高水平的阅读能力。

4.2 阅读能力对听障大学生中文词汇识别的影响

本研究发现，当控制语言经验，相比低阅读能力听障者，高阅读能力者在词汇识别中对字形表征的依赖没有更强，未发展出稳定的语音表征，手语表征的激活没有减弱。事实上，在拼音文字研究中，Bélanger 等（2012）发现高、低阅读能力听障成人在法语词汇识别中的表现相似，主要激活正字法表征，未激活语音表征。Morford 等（2017）发现高、低阅读能力听障成人在英语词汇识别中的表现相似，均激活了稳定的手语表征。以上研究结果与本研究一致，不支持听障者词汇习得模型的观点。由于当前研究选取听障大学生或听障成人作为研究对象，而听障者词汇习得模型描述的是听障学生词汇学习的整个过程，包含从初学读者到成熟读者这一发展过程，阅读发展阶段的中小学听障者在词汇识别中的词汇表征与听障大学生是否存在差异有待进一步验证。

阅读能力不影响听障大学生的词汇表征，表明他们的词汇识别能力并无较大差异，那么是什么因素导致他们阅读能力上的差异？阅读是一项复杂的认知活动，

除了词汇识别，还包括句子理解、篇章理解等过程。句子理解是在词汇识别的基础上利用各种句法、语义和语境线索获得句子意义的过程。陈朝阳等（2018）发现，高阅读能力听障中学生在句子阅读中存在语境预测性效应，低阅读能力听障中学生不存在语境预测性效应。语境预测性效应反映读者利用自上而下的概念信息来促进词汇加工，进而帮助读者进行高效地阅读（任桂琴等, 2012）。在阅读过程中，高阅读能力听障者在利用各种线索信息等方面比低阅读能力者是否更加高效？对该问题的持续探讨有助于揭示造成听障者阅读能力较低的影响因素，为制定有效地干预措施提供依据。

4.3 对建构听障大学生中文词汇识别认知模型的启示

在拼音文字系统中，有两种理论模型用于解释听障者的词汇识别过程。双通道模型（Dual-Route Cascaded Model of Reading by Deaf Adults，Elliott et al., 2012）认为听障者与健听者的词汇识别过程相同，他们能够激活正字法表征和语音表征。交互激活模型（Deaf Bilingual Interactive Activation Model， Ormel et al., 2012）认为听障者的词汇识别过程与健听者不同，听障者激活的是正字法表征和手语表征。以上两种理论模型能够解释不同语言经验下听障者的词汇识别过程。双通道模型更适用于有口语经验的听障者，交互激活模型更适用于手语经验的听障者。

本研究表明汉语听障大学生表现出与拼音文字系统不同的词汇识别过程。一方面，拼音文字是表音文字系统，书面词汇主要在音素层面编码语音，读者即使不知道它的意思，也能读出该单词。故双通道模型理论认为语音表征在听障者词汇识别中同样起着重要作用。中文是表义文字系统，每个汉字通常对应一个语义单位或语素，每个汉字对应一个音节，读者必须记住每个汉字的发音（Li et al., 2022），故语音表征在中文词汇识别中的作用有限，表现为在词汇识别中语音表征的激活较弱。因此，双通道模型无法适用于汉语听障者。另一方面，交互激活模型强调手语表征在听障者词汇识别中的重要作用，本研究发现手语组听障大学生在词汇识别中激活了稳定的手语表征，符合该模型的观点。口语组听障大学生对手语表征的激活较弱，无法用交互激活模型的观点解释，他们的词汇识别过程更符合中文词汇识别的表征和加工模型的观点。

基于本研究发现，参考拼音文字系统中提出的听障者词汇识别模型，结合中文词汇识别的表征和加工模型（周晓林, 1997），本研究尝试提出汉语听障大学生中文词汇识别的认知加工模型。如图 5 所示，与中文词汇识别的表征和加工模型（周晓林, 1997）不同的是，听障者的心理词典包含字形、语音、手语和语义四种类型表征。与现有的听障者词汇识别模型一致，在词汇加工初期，字形表征首先被激活，字形表征的激活是其它类型表征激活的前提，当心理词典中字形信息被充分激活后，与之相联的语音和手语表征也将自动被激活。在双通道模型（Elliott et al., 2012）和交互激活模型（Ormel et al., 2012）的基础上，本研究增加了语言经验的影响，具体表现为不同语言经验的听障者对语音表征和手语表征的激活不同。手语听障者无法有效激活语音表征，更多激活的是手语表征，手语表征进一步激活语义表征。口语听障者对手语表征的激活较弱，无法利用手语表征激活语义表征，他们虽然能够激活语音表征，但在中文词汇识别中，通过语音表征激活语义的作用有限。总体而言，在中文词汇识别中，语义激活主要通过字形表征通达，手语听障大学生还可以通过手语表征通达语义。

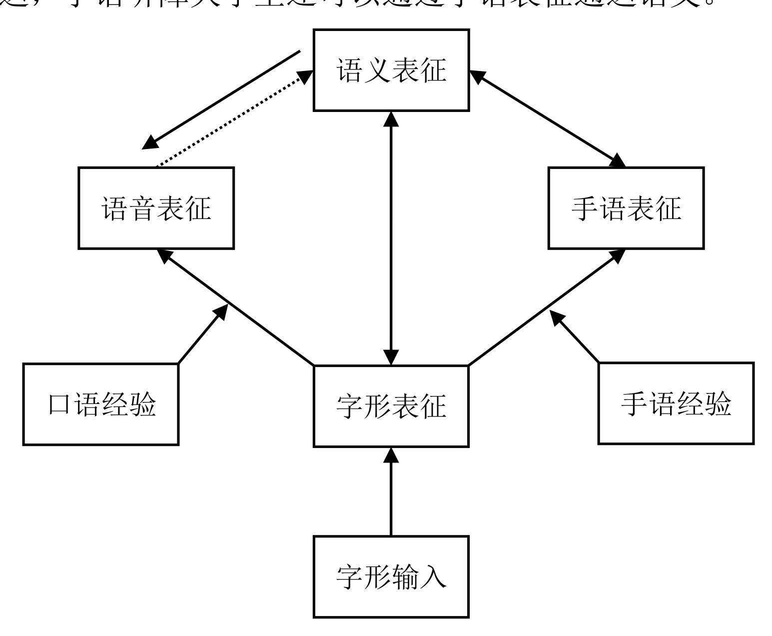


图 5 听障大学生中文词汇识别的认知加工模型

最后，需要指出的是，本研究只考察了听障大学生在书面词汇识别中字形、语音和手语表征的激活情况，其它年龄阶段的听障学生情况如何，还有待进一步的研究。另外，本研究基于当前研究结果提出听障大学生中文词汇识别的认知模型，后续研究可采用更多的实验范式和任务来进一步验证该模型的适用性，如可以采用错误中断范式，借助眼动追踪技术，在生态效度较高的句子阅读情境下进

一步考察该问题。

5 结论

首先，在控制阅读能力后，语言经验影响听障大学生中文词汇识别中的词汇表征。口语组听障大学生词汇识别的认知过程更接近健听大学生，主要激活字形表征，对手语表征和语音表征的激活较弱；手语组听障大学生则发展出与健听大学生不同的词汇识别过程，激活稳定的字形表征和手语表征。其次，在控制语言经验后，阅读能力不影响听障大学生中文词汇识别中的词汇表征。最后，参考拼音文字系统中提出的听障者词汇识别模型，结合中文词汇识别的表征和加工模型，本研究尝试提出了听障大学生中文词汇识别的认知加工模型。

参考文献

Bai, X. J., & Yan, G. L. (2017). *Psychology of reading*. Shanghai: East China Normal University Press.

[白学军, 闫国利. (2017). *阅读心理学*. 上海：华东师范大学出版社.]

Bates, D., Kliegl, R., Vasishth, S., & Baayen, H. (2015). Parsimonious mixed models. *arXiv preprint arXiv:1506.04967*.

Bélanger, N. N., Baum, S. R., & Mayberry, R. I. (2012). Reading difficulties in adult deaf readers of French: Phonological codes, not guilty! *Scientific Studies of Reading, 16*(3), 263–285.

Bélanger, N. N., Mayberry, R. I., & Rayner, K. (2013). Orthographic and phonological preview benefits: Parafoveal processing in skilled and less-skilled deaf readers. *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 66*(11), 2237–2252.

Blythe, H. I., Dickins, J. H., Kennedy, C. R., & Liversedge, S. P. (2018). Phonological processing during silent reading in teenagers who are deaf/hard of hearing: An eye movement investigation. *Developmental Science, 21*(5), e12643.

Cai, Q., & Brysbaert, M. (2010). SUBTLEX-CH: Chinese word and character frequencies based on film subtitles. *PLoS ONE, 5*(6), Article e10729.

Cardin, V., Orfanidou, E., Rönnberg, J., Capek, C. M., Rudner, M., and Woll, B. (2013). Dissociating cognitive and sensory neural plasticity in human superior temporal cortex. *Nature Communications, 4*(1), 1473.

Chen, C. Y., Liu, Z. F., Su, Y. Q., & Cheng, Y. H. (2018). The prediction effects for skill and less-skill deaf readers in Chinese reading: Evidence from eye movement. *Psychological Development and Education, 34*(6), 692–699.

[陈朝阳, 刘志方, 苏永强, 程亚华. (2018). 高低阅读技能聋生词汇加工的语境预测性效应特点: 眼动证据. *心理发展与教育, 34*(6), 692–699.]

Cheng, Y. H., & Wu, X. C. (2018). Reading fluency of first-graders predicted reading comprehension of second-and third-graders. *Psychological Development and Education*, *34*(3), 314–321.

[程亚华, 伍新春. (2018). 小学一年级阅读流畅性对二、三年级阅读理解的预测. *心理发展与教育, 34*(3), 314–321.]

Coltheart, M., Rastle, K., Perry, C., Langdon, R., & Ziegler, J. (2001). DRC: A dual route cascaded

model of visual word recognition and reading aloud. *Psychological Review, 108*(1), 204–256.

Elliott, E. A., Braun, M., Kuhlmann, M., & Jacobs, A. M. (2012). A dual-route cascaded model of reading by deaf adults: Evidence for grapheme to viseme conversion. *Journal of Deaf Studies and Deaf Education, 17*(2), 227–243.

Emmorey, K. & Lee, B. (2021), The neurocognitive basis of skilled reading in prelingually and profoundly deaf adults. *Language and Linguistics Compass, 15*(2), e12407.

Fariña, N., Duñabeitia, J. A., & Carreiras, M. (2017). Phonological and orthographic coding in deaf skilled readers. *Cognition, 168*, 27–33.

Feng, M., Han, Y., & Guo, Q. (2017). An experimental study of the activation of sign language in hearing-impaired persons' Chinese characters recognition. *Chinese Journal of Special Education*, (11), 25–31.

[冯敏，韩媛，郭强. (2017). 聋生汉语词汇识别过程中手语激活的实验研究. *中国特殊教育*, (11), 25–31.]

Friesen, D. C., & Joanisse, M. F. (2012). Homophone effects in deaf readers: Evidence from lexical decision. *Reading and Writing, 25*(2), 375–388.

Hermans, D., Knoors, H., Ormel, E., & Verhoeven, L. (2008). Modeling reading vocabulary learning in deaf children in bilingual education programs. *Journal of Deaf Studies and Deaf Education, 13*(2), 155–174.

Hirshorn, E. A., Dye, M. W. G., Hauser, P. C., Supalla, T. R., & Bavelier, D. (2014). Neural networks mediating sentence reading in the deaf. *Frontiers in Human Neuroscience, 8*, 394.

Koo, D., Crain, K., LaSasso, C., & Eden, G. F. (2008). Phonological awareness and short term memory in hearing and deaf individuals of different communication backgrounds. *Annals of the New York Academy of Sciences, 1145*, 83–99.

Kubus, O., Villwock, A., Morford, J. P., & Rathmann, C. (2014). Word recognition in deaf readers: Cross-language activation of German Sign Language and German. *Applied Psycholinguistics, 36*(4), 831–854.

Lan, Z. B., Liang, X. W., Wang, Z. G., Jiang, K., Meng, Z., & Yan, G. L. (2020). Phonological processing during sentence reading in deaf college students: An eye-tracking study. *Journal of Psychological Science, 43*(4), 997–1003.

[兰泽波，梁晓伟，王正光，姜琨，孟珠，闫国利. (2020). 听障大学生句子阅读中语音加工的眼动研究. *心理科学, 43*(4), 997–1003.]

Lan, Z. B., Lin, M., Song, Z. M., Meng, Z., Jiang, K., & Yan, G. L. (2022). Phonological activation during reading in deaf college students: Evidence from the tongue-twister effect. *Journal of Psychological Science, 45*(2), 491–497.

[兰泽波，林梅，宋子明，孟珠，姜琨，闫国利. (2022). 听障大学生阅读中的语音激活：来自绕口令效应的证据. *心理科学, 45*(2), 491–497.]

Lederberg, A. R., Schick, B., & Spencer, P. E. (2012). Language and literacy development of deaf and hard-of hearing children: Successes and challenges. *Developmental Psychology, 49*(1). 15–30.

Li, D., Hu, K. D., Chen, G. P., Jin, Y., & Li, M. (1988). Test report of Raven's Progressive Matrices (CRT) of Shanghai city. *Journal of Psychological Science*, (4), 29–33.

[李丹，胡克定，陈国鹏，金瑜，李眉. (1988). 瑞文测验联合型(CRT)上海市区试测报告. *心理科学通讯*, (4), 29–33.]

Li, P., Zhang, F., Yu, A., & Zhao, X. (2020). Language History Questionnaire (LHQ3): An enhanced

tool for assessing multilingual experience. *Bilingualism: Language and Cognition, 23*(5), 938–944.
Li, X., Huang, L., Yao, P., & Hyönä, J. (2022). Universal and specific reading mechanisms across different writing systems. *Nature Reviews Psychology, 1*, 133–144.
Marian, V., Blumenfeld, H. K., & Kaushanskaya, M. (2007). The Language Experience and Proficiency Questionnaire (LEAP-Q): Assessing language profiles in bilinguals and multilinguals. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research, 50*(4), 940–967.
Mayberry, R. I., del Giudice, A. A., & Lieberman, A. M. (2011). Reading achievement in relation to phonological coding and awareness in deaf readers: A meta-analysis. *Journal of Deaf Studies and Deaf Education, 16*(2), 164-188.
Morey, R. D., Rouder, J. N., & Jamil, X. (2015). BayesFactor: Computation of Bayes factors for common designs. Version 0.9.12. from http://bayesfactorpcl.r-forge.r-project.org
Morford, J. P., Kroll, J. F., Piñar, P., & Wilkinson, E. (2014). Bilingual word recognition in deaf and hearing signers: Effects of proficiency and language dominance on cross-language activation. *Second Language Research, 30*(2), 251–271.
Morford, J. P., Occhino-Kehoe, C., Piñar, P., Wilkinson, E., & Kroll, J. F. (2017). The time course of cross-language activation in deaf ASL-English bilinguals. *Bilingualism: Language and Cognition, 20*(2), 337–350.
Morford, J. P., Wilkinson, E., Villwock, A., Pinar, P., & Kroll, J. F. (2011). When deaf signers read English: Do written words activate their sign translations? *Cognition, 118*(2), 286–292.
Ormel, E. (2008). *Visual word recognition in bilingual deaf children*. PhD dissertation, Radboud University, Nijmegen.
Ormel, E., & Giezen, M. (2014). Bimodal bilingual cross-language interaction: pieces of the puzzle. In M. Marschark, G. Tang, & H. Knoors (Eds.), *Bilingualism and bilingual deaf education* (pp. 74–101). Oxford University Press.
Ormel, E., Hermans, D., Knoors, H., & Verhoeven, L. (2012). Cross-language effects in written word recognition: The case of bilingual deaf children. *Bilingualism: Language and Cognition, 15*(2), 288–303.
Pavani, F., & Bottari, D. (2012). Visual abilities in individuals with profound deafness: A critical review. In Murray, M. M., & Wallace, M. T. (Ed.), *The neural bases of multisensory processes* (pp. 421–445). CRC Press/Taylor & Francis.
Perfetti, C. (2007). Reading ability: Lexical quality to comprehension. *Scientific Studies of Reading, 11*(4), 357–383.
Ren, G. Q., Han, Y. C., & Yu, Z. (2012). The activation of orthography and phonology during Chinese sentence reading: Evidence from eye movements. *Acta Psychologica Sinica, 44*(4), 427–434.
[任桂琴，韩玉昌，于泽. (2012). 句子语境中汉语词汇形、音作用的眼动研究. 心理学报, 44(4), 427–434.]
Sterne, A., & Goswami, U. (2000). Phonological awareness of syllables, rhymes and phonemes in deaf children. *Journal of Child Psychology & Psychiatry, 41*(5), 609–626.
Thierfelder, P., Wigglesworth, G., & Tang, G. (2020a). Sign phonological parameters modulate parafoveal preview effects in deaf readers. *Cognition, 201*, 104286.
Thierfelder, P., Wigglesworth, G., & Tang, G. (2020b). Orthographic and phonological activation in Hong Kong deaf readers: An eye-tracking study. *Quarterly Journal of Experimental*

Psychology, 73(12), 2217–2235.
Traxler, C. B. (2000). The Stanford Achievement Test: National norming and performance standards for deaf and hard-of-hearing students. *Journal of Deaf Studies and Deaf Education, 5*(4), 337–348.
Villwock, A., Wilkinson, E., Pi˜nar, P., & Morford, J. P. (2021). Language development in deaf bilinguals: Deaf middle school students co-activate written English and American Sign Language during lexical processing. *Cognition, 211*, 104642.
Xu, Y., Pollatsek, A., & Potter, M. C. (1999). The activation of phonology during silent Chinese word reading. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition, 25*(4), 838–857.
Yan, G., Lan, Z., Meng, Z., Wang, Y., & Benson, V. (2021). Phonological coding during sentence reading in Chinese deaf readers: An eye-tracking study. *Scientific Studies of Reading*, *25*(4), 287–303.
Yao, P., Staub, A. & Li, X. (2021). Predictability eliminates neighborhood effects during Chinese sentence reading. *Psychonomic Bulletin & Review, 29*(2), 243–252.
Zhou, X. L. (1997). The limitation of the pronunciation in semantic activation. In Peng, D. L., Shu, H., & Chen, X. Z. (Eds.), *Cognitive Research on Chinese Language*. Ji'nan: Shangdong Education Press.
[周晓林. (1997). 语义激活中语音的有限作用. 彭聃龄, 舒华, 陈烜之(编), *汉语认知研究*. 济南: 山东教育出版社.]

The distinctness of visual word recognition in hearing-impaired college readers: The effects of language experience and reading ability

LAN Zebo[1,2]; GUO Meihua[3]; JIANG Kun[4]; WU Junjie[1]; YAN Guoli[1]
([1] Faculty of Psychology, Tianjin Normal University, Tianjin 300387, China) ([2] School of Health, Fujian Medical University, Fuzhou 350122, China) ([3] School of Educational Science, Minnan Normal University, Zhangzhou 363000, China) ([4] Mental Health Education and Consultation Center, Tianjin University of Technology, Tianjin 300384, China)

Abstract Compared with hearing readers, orthographic information and phonological information may play different roles in the word recognition process for hearing-impaired readers. As a communication mode for hearing-impaired readers, sign language may also affect their word recognition process. A large number of studies have examined the activation of orthographic representation, phonological representation, and sign language representation during visual word recognition in hearing-impaired readers. Previous studies have found that hearing-impaired readers could activate stable orthographic representations, but there were inconsistent results in the activation of

phonological representations, whereas studies on hearing-impaired readers who primarily use sign language have found that they can activate stable sign language representations. Hearing-impaired readers grow up in a complex language environment, which leads to great individual differences in language experience and reading ability. However, previous works have not clearly identified the effect of language experience and reading ability on the cognitive mechanism of reading in hearing-impaired readers. Continuous attention to this problem will help to provide a reference to guide reading instruction for hearing-impaired readers.

This study conducted two semantically related decision tasks to investigate the activation of orthographic, phonological, and sign language representations during Chinese visual word recognition in hearing-impaired college students. Orthographic and phonological representations play an important role in word recognition for hearing readers, but sign language representations are a phenomenon unique to deaf readers. In the current study we investigated the activation of orthographic and phonological representation in Experiment 1 and the activation of sign language representation in Experiment2. To investigate the effects of individual differences, according to their language experience and reading fluency, hearing-impaired college students were divided into deaf college students with oral language experience and higher reading ability (Skilled Oral Deaf, SOD), deaf college students with sign language experience but higher reading ability (Skilled Sign Deaf, SSD), and deaf college students with sign language experience and lower reading ability (Less-Skilled Sign Deaf, LSSD).

The results of Experiment 1 showed that (a) hearing students showed a stable orthographic interference effect, whereas the phonological interference effect was weak. (b) The SOD group and the SSD group showed similar performance. Both showed a stable orthographic interference effect but did not show a significant phonological interference effect. (c) The SSD group and the LSSD group showed similar performance. Both groups showed a stable orthographic interference effect but did not show a phonological interference effect. Experiment 2 found that (a) hearing students did not show a sign language interference effect. (b) The SOD group and the SSD group

differed in performance. The SSD group exhibited a sign language interference effect, whereas this effect was absent in the SOD group. (c) The SSD group performed similarly to the LSSD group. Both groups showed a stable sign language interference effect.

Taken together, the following conclusions were drawn from the two studies: (a) after controlling for reading ability, language experience affected Chinese lexical recognition in deaf college students; lexical representation of oral deaf college students was similar to that of hearing readers., orthographic representations were mainly activated; and the activation of phonological and sign language representations was weak. Deaf college students who used sign language developed a unique cognitive mechanism, and they activated stable orthographic and sign language representations during visual word recognition. (b) After controlling for language experience, reading ability did not affect lexical representation during Chinese word recognition in hearing-impaired college students. (c) Based on the results of this study, combined with the representation and processing models of Chinese word recognition, we attempted to construct a cognitive model of Chinese word recognition for hearing-impaired college readers.

Key words Hearing-impaired college students, visual word recognition, orthographic representation, phonological representation, sign language representation

作者贡献申明

兰泽波：研究方案的提出、设计，开展实验，数据收集与分析，论文撰写

郭梅华：开展实验，数据收集

姜琨：提供被试，数据收集

吴俊杰：研究方案设计与讨论、观点提出

闫国利：研究方案设计与讨论、论文修改、经费支持